



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Plast og Brand

Jensen, Jens Kristian Jehrbo

Publication date:
1987

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Jensen, J. K. J. (1987). *Plast og Brand*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. U/ Nr. 8703

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

INSTITUTE OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING

AALBORG UNIVERSITETSCENTER · AUC · AALBORG · DANMARK

PLAST OG BRAND

JENS KR. JEHRBO JENSEN

PLAST OG BRAND

JULI 1987

ISSN 0902-8005 U8763

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK
INSTITUTE OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER · AUC · AALBORG · DANMARK

PLAST OG BRAND

JENS KR. JEHRBO JENSEN
PLAST OG BRAND
JULI 1987

ISSN 0902-8005 U8703

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
INDLEDNING	2
INDELING	3
BRANDFORLØB	5
Niveauer	5
Molekylniveau	5
Materialniveau	6
Konstruktionsniveau	8
Afslutning	9
BRANDHÆMNING OG BRANDBESKYTTELSE	11
Reaktiv flammeretardering	11
Additiv flammeretardering	12
DE ENKELTE PLASTMATERIALER	14
Polyethylen	14
Polyvinylchlorid	15
Polystyren	16
ABS-plast	16
Andre termoplast	16
Hærdeplast	16
ANDRE FORHOLDSREGLER	17
BRANDSLUKNING	19
IDENTIFIKATION	20
Indledende undersøgelser	26
Udseende	26
Fabrikationsmetode	26
Elasticitet	26
Varme	27
Simple prøver	27
Beilsteins prøve	27
Densitet	27
Klang m.m.	28
Duft	28

Overflade	28
Farve	28
Opvarmningsprøver	28
Elementaranalyser	29
Endelig identifikation	30
SIKKERHED	31
Iltformindskelser	31
Flammepåvirkning	31
Varmepåvirkning	31
Giftige gasser	32
Røg	33
Styrkereduktion	33
AFSLUTNING	33
LITTERATUR	34

FORORD

Dette skrift behandler emnet: plast og brand set i relation til anvendelserne i byggeriet. Den udstrakte brug af plastmaterialer gør det nødvendigt at være opmærksom på forhold vedrørende termisk nedbrydning af brand. En analyse af plastmaterialer kan foretages ved hjælp af ret simple prøver, og dette kan benyttes til at vurdere brandprodukternes giftighed og danne grundlag for valg af en egnet brandslukningsmetode.

Skriftet kan anvendes i undervisningen, specielt i materialelære på KI9.

Solveig Hesselvang har renskrevet dette, og June Warming har udført tegningsarbejdet. Begge bedes modtage min hjerteligste tak.

Jens Kr. Jehrbo Jensen

INDLEDNING

I kraft af plastmaterialernes opbygning og indhold af grundstofferne: kulstof, hydrogen, oxygen, nitrogen, chlor og mange andre, kan mange af dem undergå formændringer eller dekomponere eller brænde ved en temperaturstigning. De termoplastiske materialer bliver bløde ved opvarmning, og de kan tilsidst smelte og ofte brænde. De termohærdnende materialer bliver dannet ved højt tryk og temperatur, hvorfor de er mere temperaturstabile. Disse materialer har dog tendens til at forkulle, men de kan også brænde.

Det er derfor nødvendigt ved valg af et plastmateriale til en given opgave at tage hensyn til anvendelsestemperaturen. Det kan medføre, at man må anvende et "brandbeskyttet" plast, d.v.s. et materiale, som er modificeret kemisk eller ved fysisk indblanding af komponenter, der forsinker brandudbredelsen eller gør materialet selvslukkende.

Når et plastmateriale opvarmes, kan der ske en udsendelse af dampe. Resten kan være flydende eller fast. Dampene kan blive antændt og brænde med en flamme, hvis udseende i udstrakt grad afhænger af materialets sammensætning. En observation af disse flammer kan ofte anvendes til en analyse af, hvilket materiale der er tale om. Da mange dampe er giftige, er det nødvendigt med sikkerhedsregler for omgang med plast i det hele taget.

I dette kompendium behandles plastmaterialernes opførsel ved brand i relation til nedbrydning, antændelse, flammespredning, faseomdannelser, gasudvikling, giftighed, analyse og andre relevante emner.

INDELING

Som bekendt inddeles plastmaterialerne efter opbygning i grupperne: termoplast, hærdeplast, elastomere (gummi) og fibre. Termoplast bliver blødt ved opvarmning, mens hærdeplast netop bliver dannet ved opvarmning af to eller flere komponenter (monomere). Elastomere er en- eller to-komponent materialer med gummiagtige egenskaber (lav glastemperatur), mens fibre opstår ved strækning af en termoplast. Termoplast består for det meste af lange molekyllkæder med (få) tværbindinger, således at materialet kan optræde i både amorf og krystallitisk tilstand. Hærdeplast har en tydelig tredimensionel struktur. En nærmere omtale af plastmaterialers opbygning kan ses i (4).

I praksis har de enkelte plastmaterialer mange forskellige udformninger, f.eks. formede genstande, tynde film, belægninger, partikler i form af korn, granulat og støv, skummaterialer og armerede materialer.

Råmaterialerne gennemgår ved fremstilling af et produkt en række delprocesser, som kan være kemiske, mekaniske og termiske. Det betyder, at man skal være opmærksom på materialets tilstand under processerne, således at unødvendig temperaturstigning undgås. En væsentlig faktor for materialets brandegenskaber er den specifikke overflade. Jo større den er, jo lettere kan materialet antændes. Derfor skal man være meget påpasselig, når man har at gøre med støv, korn og skummaterialer, som er lettere at antænde end store formede uporøse genstande. Fremstillingsmetoder m.m. er behandlet i (2).

I praksis er der et meget stort antal plastmaterialer, som kan finde anvendelse overalt. Tabel 1 viser en oversigt over typiske plastmaterialer, der anvendes indenfor anlægs- og byggesektoren.

Termoplast	Hærdeplast	Elastomere (gummi)
Polyethylen	Phenolplast	Isopren
Polyvinylchlorid	Carbamidplast	Chloropren
Polypropylen	Melaminplast	Nitrilgummi
Polystyren	Polyesterplast	
Akrylplast	Epøxyplast	
ABS-plast	Polyurethan	
Polyamid		

Tabel 1. Typiske plastmaterialer.

Dertil kommer en række fibermaterialer dannet ved strækning af termoplast eller specielle aromatiske polymere.

BRANDFORLØB

Brand i plastmaterialer omfatter en lang række kemiske og fysiske processer. Ved opvarmning kan der ske smeltning og termisk sønderdeling og senere en egentlig forbrænding med røg, gas og evt. sodudvikling. Ved smeltning kan der ske flammespredning på grund af dryp, og især hærdeplast har en tendens til at forkokse. Et brandforløb kan være meget kompliceret specielt i forbindelse med plastmaterialer, hvis sammensætninger er ukendte.

Niveauer

Studiet af brandprocesser kan ske på flere niveauer: molekylniveau, materialeniveau og konstruktionsniveau.

Molekylniveau

Når et plastmolekyle opvarmes, sker der en temperaturstigning, hvis størrelse afhænger af stoffets varmekapacitet. Bliver temperaturen højere end materialets glas-temperatur T_g , overgår molekylet fra en relativ hård og skør tilstand til en mere blød og gummiagtig tilstand. De mekaniske og termiske egenskaber ændres kraftigt ved denne overgang, og bæreevnen kan falde drastisk. Tabel 2. viser en oversigt over nogle termoplasts glas-temperatur T_g °C af temperaturinterval for anvendelsen T_a °C.

Termoplast	Glas-temperatur T_g °C	Anvendelsestemperatur T_a °C
Polyethylen	-125	335-450
Polyvinylchlorid	+ 80	200-300
Polypropylen	- 20	320-400
Polystyren	+100	285-440
Akrylplast	+ 50	170-300
ABS-plast	+ 60	320-430
Polyamid	+ 55	310-380

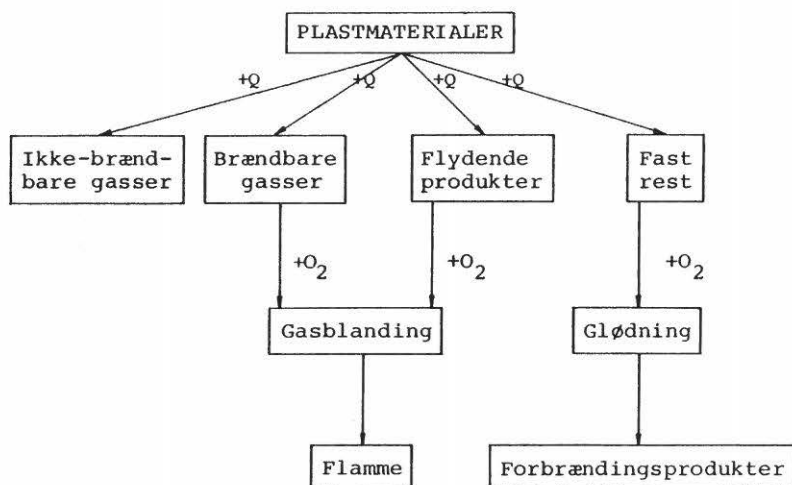
Tabel 2. Glas-temperatur og anvendelsestemperaturområde for nogle termoplast.

Ved yderligere opvarmning nedbrydes de enkelte molekylerkæder, fordi de svageste bindinger i kæden svigter. Det medfører ofte, at der sker misfarvninger. Denne nedbrydning kan forstærkes af ilt. Selve nedbrydningsprocessen har betydning, fordi der ved varmeudvikling (exoterm proces) sker en yderligere temperaturstigning.

En egentlig sønderdeling af det polymere molekyle kan observeres, hvis den temperatur, ved hvilken de mindst stabile bindinger svigter, er væsentlig lavere end sønderdelingstemperaturen for størstedelen af molekylet. Hvis der i et materiale findes bindinger, hvis styrke dækker et stort område, kan det være vanskeligt at adskille nedbrydning og sønderdeling. Denne sidste resulterer som regel i, at der opstår to produkter: en polymerkæderest, som ved stadig ildtilførsel kan gløde samt en række mindre molekyldele af gasser, som kan brænde i nærheden af den faste rest. Ved yderligere varmetilførsel kan der ske en egentlig oxidation og bortbrænding af det polymere materiale.

Materialeniveau

Ved opvarmning af et stykke plastmateriale stiger temperaturen, og materialets opførsel er bestemt af dets varmekapacitet, termisk ledningsevne samt de latente varmer i forbindelse med smeltning, fordampning af andre omdannelser (faseskift). En egentlig forbrænding kræver opvarmning, sønderdeling samt antændelse af materialet specielt de flygtige bestanddele. Figur 1 viser en skematisk oversigt over en forbrændingsproces.



Figur 1. Skematisk forbrændingsproces.

Ved tilførsel af energimængden $+Q$ til materialet kan der dannes ikke-brændbare gasser, brændbare gasser, flydende produkter og faste rester. Hvis de udviklede gasser ikke kan brænde, er det en fordel, fordi gasserne hermed beskytter materialet. Typisk drejer det sig om CO_2 (kuldioxid) og HCl (chlorbrinte), men man skal være opmærksom på, at gasserne kan være luftvejsirriterende eller korroderende.

De brændbare gasser kan typisk være CH_4 (methan), C_2H_6 (ethan), CO (kuloxid), HCHO (formaldehyd) og lignende. Disse forbindelser er foruden brændbare ofte giftige. Næsten alle plastmaterialer afgiver brændbare gasser, f.eks. H_2 (hydrogen) før det overgår til et materiale med et højere kulstofindhold.

Hvis der ved forbrændingen dannes væsker, skal man være opmærksom på, at det flydende materiale meget nemt kan spredes over et stort areal, og det bevirker en større antændingsrisiko på grund af dråbebrand.

Faste slutprodukter repræsenterer ofte en rimelig stabil sluttilstand. Derfor er vægttabet ved forbrænding et godt udtryk for materialets brandstabilitet.

Antændelse af de brændbare gasser kan foregå, hvis der er tilstrækkelig ilt tilstede sammenholdt med temperaturen og gasfasens sammensætning. I denne forbindelse defineres flammetemperaturen som den temperatur, ved hvilken gasser fra materialet kan antændes af en flamme. Selvantændelsestemperaturen er den temperatur, ved hvilken der sker antændelse og en stadig forbrænding af gassen. Koncentrationer af O_2 ilt (oxygen) spiller en stor rolle, idet et materiale kan anses for at være selvslukkende, hvis det ikke kan brænde af sig selv med mindre end 21% O_2 og uantændeligt, hvis det ikke kan antændes med mindre end 21% O_2 .

Konstruktionsniveau

Når en brand opstår i en konstruktion eller et rum, er det sjældent, at det er selve plastmaterialet, der er den egentlige årsag. Brand kan opstå, fordi materialet bliver opvarmet direkte af en flamme eller indirekte ved varmeledning igennem vægge etc. fra et naborum, hvori der er frie flammer.

Når ilden har fået fat, er resultatet af branden meget afhængig af mængde, art og fordeling af plastmaterialet i rummet. Materialets opførsel og den lethed, hvormed det antændes, er afgørende for ødelæggelsernes omfang. Specielt er materialer i tynde lag samt med stor porøsitet meget sårbare. Der kan ske flammespredning langs overfladerne på grund af udvikling af brændbare gasser, som kan være giftige; og desuden kan der dannes røg og sod. Når gasserne på overfladen bliver varmet tilstrækkeligt op, således at de selvantænder, sker der en varmeudvikling, som forstærker brandforløbet og en flammespredning.

Plastmaterialer i tynde lag kan efterhånden blive brændt igennem, og det kan betyde, at selve konstruktionen bliver brandpåvirket. Et byggeri inddeles i brandceller, som hver for sig er en enhed konstrueret således, at en brand kan holdes inden for brandcellen. At det har betydning, specielt når plastmaterialet indgår i byggeriet, eller det er oplagret i store mængder, ses af resultatet af de brande, der har været i tidens løb. Slukningsforholdene er ofte besværlige p.gr.a. brandspredning af sod- og røgudvikling.

Afslutning

Beskrivelse af et brandforløb på forskellige niveauer er vanskeligt, og der bliver nemt tale om overlapninger. Der indgår mange delprocesser, og tabel 3 viser en oversigt over disse fordelt på de forskellige niveauer.

MOLEKYLNIVEAU	MATERIALENIVEAU	KONSTRUKTIONSNIVEAU
<ol style="list-style-type: none"> 1. Opvarmning 2. Omdannelse Glastemperatur 3. Sønderdeling (degradation) Temperatur Mængde Latent varme 4. Dekomponering (dekomposition) Temperatur Mængde Latent varme 5. Iltning (oxidation) Gasfase Fast rest 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Opvarmning Specifik varme Termisk ledningsevne Latente varmer 2. Sønderdeling Temperatur Latente varmer Gasudvikling Faseskift 3. Antændelse Antændelsestemperatur Selvantændelsestemperatur Iltkoncentration 4. Forbrænding Forbrændingsvarme 5. Spredning Netto varmeudvikling 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ildens opståen Temperatur Antændelsessted Overfladeforhold Intensitet 2. Ildens opbygning Antændelighed Overfladeforhold Varmefordeling Røgproduktion Intensitet Gasudvikling 3. Ildovergang Antændelighed Overfladeforhold Materialeudstrækning Intensitet 4. Full udviklet brand og brandudvikling Intensitet Varmebidrag Røgproduktion Gasudvikling

Tabel 3. Oversigt over forbrændingsprocesser på 3 niveauer.

BRANDHÆMNING OG BRANDBESKYTTELSE

Da mange plastmaterialer kan brænde, er det vigtigt at tage hensyn hertil, dels ved valg af selve materialet, dels ved udformningen af selve emnet eller konstruktionen. Nogle principper for valg og modificering af materialer samt konstruktionsudformning skal behandles nærmere.

Det ideelle ville være, at plastmaterialer var termisk stabile, d.v.s. at de kun i ringe grad sønderdelte ved opvarmning, og at de dermed efterlod en stor rest efter brand. I praksis er der kun få plastmaterialer, der opfylder dette krav.

Der eksisterer to principper for, hvorledes man kan forbedre brandmodstandsevnen for plastmaterialer. Det ene princip bygger på det forhold, at man omdanner selve materialet til et andet, som ligner det første, men som er mere brændsikkert. Som eksempel kan nævnes klarering af polyethylen. Der tales om en reaktiv form for flammere-
tardering.

Det andet princip går ud på at iblande ubrændbare stoffer i materialet, således at den brændbare del bliver fortyndet. Som eksempler kan nævnes tilsætning af fosfater og borater. Der tales om en additiv form for flammere-
meretardering. I det følgende skal disse to former omtales nærmere.

Reaktiv flammeretardering

Denne form kan realiseres på følgende måde:

1. Plastmaterialet ændres i en sådan retning, at dekomponeringen bliver vanskeligere, og at de dannede produkter bliver ubrændbare. Der findes flere eksempler på, at indførelsen af halogener i polyestere og epoxyforbindelser samt i paraffiner og olefiner gør materialet mere brændsikkert. Tilsvarende vil fosfor i forbindelse med polyurethan være gavnligt.

2. Modificeringen foretages således, at den udviklede forbrændingsvarme bliver mindre med en mindre temperaturstigning til følge. Fosforforbindelser er velegnede til dette formål.

3. Fosforforbindelser er endvidere i stand til at forøge mængden af den faste rest (kul), og det vil være gavnligt for strukturen i restmaterialet.

4. Fosfor- og halogenforbindelser er gavnlige, fordi tendensen til antændelse nedsættes, antændelsestemperaturen forøges, og den nødvendige energi til dekomponeringen forøges.

Den reaktive flammeretardering anvendes først og fremmest ved hærdeplast, fordi substitutionen kan ske på et sent tidspunkt i fabrikationsprocessen. Det gælder endvidere, at modificering af plastmaterialer med en større kulrestdannelse til følge er en af de vigtigste måder at brændhæmme plast på. Det skyldes følgende forhold:

a. Der udvikles mindre forbrændingsvarme, idet 1 mol C (kulstof) udvikler ca. 400 kJ ved forbrænding til CO_2 (kuldioxid) og ca. 120 kJ ved forbrænding til CO (kuldioxid).

b. Materialet har en større indre sammenhæng efter brand.

c. Processerne forbruger mindre ilt.

d. Der udvikles en mindre mængde giftige gasser.

Additiv flammeretardering

Denne form kan realiseres således:

1. Der tilsættes stoffer til materialet, som ved forbrænding danner gasser, som ikke kan brænde, og som beskytter materialet. F.eks. vil tilsætning af $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (ammoniumkarbonat) ved opvarmning medføre, at der udvikles NH_3 (ammoniak), CO_2 (kuldioxid) og H_2O (vand), som alle tre virker hæmmende på forbrændingen.

2. Fosforbindelser anvendes på samme måde som tidligere omtalt ved en reduktion af varmeudviklingen.

3. Tilsætning af stoffer, som i længere tid bevarer materialets fysiske struktur. Der anvendes typisk filler-materialer, glasfibre og andre mineralske stoffer.

4. Tilsætning af stoffer som medfører en stigning i den specifikke varme, den termiske ledningsevne og varmeabsorptionen. Hertil anvendes fillermaterialer og vandholdige aluminiumforbindelser.

Hver af disse beskyttelsesformer influerer på forskellig vis på brandforløbet, som det tidligere er omtalt. En nøjere undersøgelse viser, at det især er følgende processer, der påvirkes på materialeniveauet:

1. Dekomponeringen
2. Antændelsen
3. Forbrændingen
4. Brandudviklingen

De enkelte processer indebærer spaltning af de lange molekyll kæder under dannelse af frie radikaler, d.v.s. ustabile molekyll grupper, som er meget reaktive. I øvrigt anvendes additiv flammeretardering overvejende til termoplast.

DE ENKELTE PLASTMATERIALER

Polyethylen, PE

Polyethylen er det simpleste polymere materiale opbygget ved polymerisation af ethylen, d.v.s. $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$. Polyethylen findes i to typer, PEL og PEH, med lav og høj massefylde, men materialet består kun af kulstof, C og brint, H. PE smelter let, og det betyder, at emner af PE kan ødelægges helt ved smeltning, før det brænder. PE antændes ved ca. 350°C , og der er stor mulighed for brandspredning p.gr.a. dryp. Man kan sagtens observere, at det smeltede materiale ikke antændes, fordi forskellen mellem smeltepunktet og den temperatur, ved hvilken antændelig gas udvikles, er ca. 200°C .

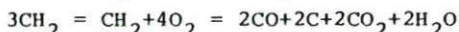
Den udviklede røg vil ved fuldstændig forbrænding bestå af CO_2 (kuldioxid) og H_2O (vand), og kun en svag soddannelse kan observeres. Ofte sker forbrændingerne med for lidt lufttilgang, og det betyder, at der dannes CO (kuloxid) og evt. ren C (kulstof) som sod.

På skematisk form kan forbrændingsprocesserne skrives således:

Fuldstændig forbrænding



Ufuldstændig forbrænding



Indholdet af CO gør røgen giftig, og dertil kommer, at der ved ufuldstændig forbrænding også kan dannes mættede kulbrinter samt aldehyder og syrer, som kan virke irriterende på luftveje etc.

Brandhæmning kan ske således:

1. Klarering af polyethylen
2. Tilsætning af halogenforbindelser
3. Forbedring af hologeners virkning ved tilsætning af antimonforbindelser eller fosfor.

Polyvinylchlorid, PVC

Polyvinylchlorid er et af de almindeligste termoplast, som har molekylet $-CH_2CHCl-$ som grundenhed. I ren tilstand er materialet amorft og meget stift, fordi dipolen $-\overset{+}{C}-\overset{-}{Cl}-$ er en meget stærk binding, der trækker de enkelte molekyll kæder tæt sammen. Materialet findes i flere blødgjorte udgaver, som fremkommer ved at iblande ret store mængder af andre stoffer med halvstore molekyler (phtalater), som lægger sig imellem de enkelte PVC-molekyll kæder. Ved iblanding af syntetisk gummi fås seje PVC-plast.

Når PVC udsættes for varme, bliver det blødt, og f.eks. rør kan klappe sammen. Dog vil PVC ikke som PE og PP dryppe ved evt. smeltning. PVC indeholder i ren tilstand ca. 57 vægtprocent Cl_2 (chlor), og det bevirker, at PVC er svært antændeligt, og en brand går næsten ud med det samme. For blødgjorte PVC sløres dette af, at de lavmolekylære stoffer ofte nemmere antændes.

Når temperaturen bliver $200-300^{\circ}C$ begynder PVC at blive nedbrudt kemisk, idet der dannes CO_2 (kuldioxid), CO (kuloxid), HCl (chlorbrinte), C (sod) samt H_2O (vand). Ved ufuldstændige forbrændinger kan der dog dannes mindre mængder af mellemprodukter med middelhøj molekyllvægt, men også den rene monomer, vinylchlorid samt giftige luftarter som $COCl_2$ (phosgen) og Cl_2 (chlor) i små mængder. Den største risiko ved en PVC-brand er udviklingen af chlorbrinte, fordi denne gas meget nemt går i opløsning i vand og danner saltsyre. Den korrosive effekt af disse stoffer er meget stor. 1 kg ren PVC udvikler 0,585 kg HCl svarende til 1,7 liter 37% saltsyreopløsning.

Brandhæmning for blødgjort PVC er nødvendig, og dette kan ske ved at erstatte normale blødgørere med fosfat-holdige forbindelser og halogenforbindelser.

Polystyren, PS

Polystyren består af enheder af typen $-C_6H_5CH_2-$ og det er et fast amorft plast, som er hårdt, skørt og med metallisk klang. Stoffet indeholder meget kulstof i forhold til brint, og det betyder, at der skal et stort iltoverskud til for at få en fuldstændig forbrænding. I praksis brænder polystyren med en stærkt sodende flamme.

Brandhæmning kan foretages ved addition af halogenforbindelser specielt med brom. Ved en ekstra polymerisation kan der indføres halogener i selve de polymere kæder.

ABS-plast

ABS-plast er et velkendt plast fra byggeriet. Det er et copolymerisat af 3 monomere: styren, butadien og acrylonitril, og den sidste indeholder N (kvælstof). Udover de sædvanlige gasser (CO_2 , CO og H_2O) dannes kvælstof afhængig af ilttilførslen: N_2 , NH_3 , HCN (cyanbrinte) samt større eller mindre mængder kvælstofoxider (NO_x). Alle disse forbindelser må betragtes som giftige.

Brandhæmning kan ske ved tilsætning af halogenforbindelser eller ved en ekstra polymerisering med klorholdige monomere.

Andre termoplast

Det er almindeligt at brandhæmme med halogenforbindelser eller halogen-fosfatforbindelser, enten ved addition eller direkte indførsel i molekyllæderne. Dette gælder for de fleste andre termoplast.

Hærdeplast

For hærdeplasts vedkommende (polyester, epoxy, polyurethaner etc.) anvendes i udstrakt grad halogen-fosforforbindelser samt tilsætning af store mængder uorganisk filermateriale.

ANDRE FORHOLDSREGLER

Når man anvender plastmaterialer må man tage hensyn her-til ud fra et brandsikkerheds synspunkt. En række for-holdsregler af principper skal derfor følges.

I almindelighed skal man undgå anvendelse af letantænde-lige plast, og plast som ikke ved anden prøvning har vist en fornøden flammemodstand. Hvis det er muligt, kan man beskytte plasten med et dæklag, som er vanskeligere at antænde, og som bevirker, at ilten ikke kommer ind til det oprindelige materiale. Hvis et materiale nemt bræn-der på overfladen, kan en belægning formindske brand-spredningen. I almindelighed må man fraråde at anvende skumplast uden beskyttelse.

Det frarådes at anvende materialer med stor overflade-brændeevne over store arealer herunder lofter. Her er det afgørende nødvendigt med fysiske brandstop (brand-celler). Tilsvarende gælder det for plast, som soder me-get.

Hvis en konstruktion består af flere lag, er den samlede brandmodstand større end summen af de enkelte lags mod-stand. En polyurethankerne beskyttet med to lag stift PVC vil være meget holdbar, fordi PVC laget forhindrer ild og luft at komme ind til kernen.

Hvis en konstruktion indeholder luftfyldte hulrum er brandmodstanden større end for en tilsvarende konstruk-tion med samme vægt. Det gælder endvidere, at jo længere væk fra overfladen hulrummene ligger, jo bedre virkning. Dog kan man ikke forbedre modstanden ubegrænset ved at gøre hulrummene meget store, d.v.s. større end 15-20 mm.

Beklædninger med lav varmeledningsevne anbringes bedst på den side, hvor der er størst risiko for brandpåvirk-ning. Man må dog sikre sig, at beklædningen ikke under-går fysiske og kemiske ændringer.

Hvis et materiale indeholder komponenter (hydrater), som kan afgive vand, kan det være en fordel, fordi vand har en stor fordampningsvarme. Dog må man være opmærksom på, at vanddampe kan bevirke materialeeksplosion.

Man må endvidere være opmærksom på, at konstruktionsdeles brandmodstandsevne i nogle tilfælde (bjælker, drage-re) er bedre og i andre tilfælde (gulv, vægge, loft) dårligere end, hvad man kan registrere ved en standard brandprøve.

BRANDSLUKNING

Principielt er der følgende muligheder for slukning af en brand i plastmaterialer.

1. Afkøling med vand er en meget brugt metode ved talrige brande. Man udnytter det forhold, at vand har en stor varmekapacitet og fordampningsvarme således, at vandet skal optage store energimængder, før det går på dampform. Det bevirker en effektiv afkøling af det brændbare materiale ned til et punkt, hvor der ikke længere frigives dampe, som kan antændes. Som tidligere nævnt kan der ved plastbrænde dannes gasser, som er giftige og letopløselige i vand. Man skal her være opmærksom på eventuelle sekundære skader ved slukning med vand.

2. Slukning ved adskillelse af materialet fra ilten, som nærer forbrændingen. Denne adskillelse kan fysisk ske med brandtæpper, som holdes kolde med vand eller ved at overdække det brændende materiale med kuldioxid, skum og andre fordampende væsker.

3. Kemisk slukning kan ske med større effekt ved brug af halogenforbindelser (haloner), som virker efter de samme principper, som tidligere er omtalt.

IDENTIFIKATION

Mange plastmaterialer ligner hinanden så meget, at det kan være vanskeligt at skelne flere emner fra hinanden. Der er derfor behov for, at finde simple metoder, som kan anvendes til at identificere plastmaterialer. Dette besværliggøres af, at mange materialer ikke anvendes i ren tilstand, men at der tilsættes blødgørere, farvestoffer, fillermaterialer m.m. Derfor kan det være vanskeligt at identificere et materiale til bunds, men med kendskab til form og anvendelse samt brug af simple prøver, kan man komme langt.

Tabel 4-7 viser en oversigt over gængse plastmaterialer af gummityper. Der skelnes mellem:

- a. Bløde termoplast (B1 til B5) (fleksible kæder uden tværbindinger)
- b. Stive termoplast (S1 til S23) (stive kæder uden tværbindinger)
- c. Hærdeplast (H1 til H9) (stive kæder med tværbindinger)
- d. Elastomere, gummi (G1 til G15) (fleksible kæder med få tværbindinger)

1. Polyethylenes

Homopolymers with various degrees of chain branching and hence degrees of flexibility.

2. Polyisobutylene

This has short-term rubbery properties but cannot be vulcanized.

3. Polyvinyl Alcohols

Various amounts of residual acetate groups may be present.

4. Polyvinyl Chlorides

The straight polymer is rigid but is very commonly plasticized to give a flexible material. May also be copolymers with small amounts of various comonomers.

5. Rubber Hydrochloride

The addition product of *cis* 1,4-polyisoprene and hydrogen chloride.

Tabel 4: Bløde termoplast, B1-B5. (7).

1. *Acrylonitrile-Butadiene-Styrenes*
Copolymers of various composition and structure depending on method of manufacture.
2. *Bitumens*
Various types are available depending on source.
3. *Cellulose Acetates*
Various degrees of acetylation are possible. In primary cellulose acetate (or cellulose triacetate) acetylation is virtually complete; in secondary cellulose acetate (commonly termed cellulose acetate) about 80% of the available hydroxyl groups are acetylated.
4. *Cellulose Acetate-Butyrates*
Esters with various proportions of acetate and butyrate groups, commonly 20-40% butyrate.
5. *Cellulose Nitrates*
In plastics materials about 60% of the available hydroxyl groups are nitrated.
6. *Ethylcelluloses*
In plastics materials about 85% of the available hydroxyl groups are etherified.
7. *Nylons*
Polymers with various aliphatic segments between recurring amide groups. Most common types are 6; 6, 6; 6, 10; 11.
8. *Polyacrylonitriles*
Generally copolymers with small amounts of comonomer.
9. *Polycarbonates*
Polyesters derived from carbonic acid derivatives and dihydroxy compounds, commonly from phosgene and 4,4'-dihydroxydiphenyl-2,2-propane.
10. *Polychlorotrifluoroethylene*

Tabel 5: Stive termoplast, S1-S10. (7).

11. *Polyethylene Terephthalate*
12. *Polyformaldehydes*
May be homopolymer or copolymers with small amounts of comonomer.
13. *Polymethyl Methacrylate*
14. *Polypropylenes*
Homopolymers which may have various degrees of tacticity.
15. *Polystyrene*
16. *Polytetrafluoroethylene*
17. *Polyurethanes*
Polymers prepared from diisocyanates and dihydroxylic alcohols, commonly 1,6-hexamethylene diisocyanate and 1,4-butanediol.
18. *Polyvinyl Acetate*
19. *Polyvinyl Chlorides*
May be homopolymer or copolymers with small amounts of comonomer.
20. *Polyvinyl Fluoride*
21. *Polyvinylidene Chlorides*
May be homopolymer or, more commonly, a copolymer with about 20% vinyl chloride.
22. *Polyvinylpyrrolidone*
23. *Shellacs*
Various grades are available depending principally on colour and wax content.

1. *Alkyds*

These materials are of two distinct types, viz. those based on unsaturated linear polyesters which are subsequently cross-linked by reaction with an unsaturated compound and those which are based on diallyl phthalate.

2. *Casein*

This protein is cross-linked with formaldehyde.

3. *Epoxides*

Polymers which can be cross-linked via epoxy groups, most commonly based on epichlorhydrin and 4,4'-dihydroxydiphenyl-2,2-propane. Various cross-linking agents can be used, e.g. amines and products may thus contain nitrogen. It is to be noted that un-compounded epoxides, being linear polymers, are thermoplastic.

4. *Melamine-Formaldehyde*

5. *Phenol-Formaldehydes*

Polymers based on phenols, commonly phenol and cresol, and formaldehyde. Hexamethylenetetramine is commonly used in moulding powders and products may thus contain nitrogen. It is to be noted that un-compounded Novolaks, being linear polymers, are thermoplastic.

6. *Polyesters*

Unsaturated linear polymers cross-linked by various liquid vinyl monomers, commonly styrene.

7. *Polyurethanes*

Polymers formed by reaction of multi-functional polyesters or polyethers and diisocyanates.

8. *Silicones*

Copolymers of various siloxane forming monomers.

9. *Urea-Formaldehyde*

Tabel 6: Hærdeplast, H1-H9. (7).

1. Acrylate Rubbers

Copolymers of acrylic esters and (generally) small amounts of chlorine-containing monomers.

2. Butyl Rubbers

Copolymers of isobutylene and small amounts of isoprene. Butyl rubbers containing small amounts of bromine or chlorine are also available.

3. Chlorosulphonated Polyethylenes

Polyethylene with substituted chloride and sulphonyl chloride groups, commonly containing about 27% Cl and 1.5% S.

4. Ethylene-Propylene Rubbers

Copolymers of ethylene and propylene, commonly with about 30% propylene. Generally contain a small amount of a diene.

5. Fluorinated Rubbers

Various fluorine-containing rubbers are available. Most commonly they are copolymers of vinylidene fluoride with chlorotrifluoroethylene or perfluoropropylene.

6. Natural Rubber

Mainly *cis* 1,4-polyisoprene with minor proportions of other isomeric structures.

7. Nitrile Rubbers

Copolymers of butadiene and acrylonitrile, commonly with 20–40% acrylonitrile.

8. Polybutadiene Rubbers

Mainly *cis* and *trans* 1,4-polybutadiene with minor 1,2-contents.

Tabel 7: Gummi, G1–G8. (7).

9. *Polychloroprene Rubbers*
May be homopolymer or copolymers with small amounts of comonomer. May or may not be 'sulphur modified'.
10. *Polyisoprene Rubbers*
Synthetic materials closely resembling natural rubber.
11. *Polysulphide Rubbers*
Polymers composed of aliphatic segments connected by polysulphide links.
12. *Polyurethane Rubbers*
Polymers formed by reaction of diisocyanates and polyesters, polyethers or polyester amides.
13. *Silicone Rubbers*
Copolymers of various siloxane forming monomers. May contain fluorine.
14. *Styrene-Butadiene Rubbers*
Copolymers of styrene and butadiene, commonly with about 30% styrene. (High styrene resins containing about 85% styrene are also available.)
15. *Vinylpyridine Rubbers*
Various vinylpyridine-containing rubbers are available. Most common is a terpolymer with butadiene and styrene.

Tabel 7: Gummi, G9-G15. (7).

Identifikationen kan deles op i følgende trin med stigende krav til udstyr m.m.

1. Indledende undersøgelser
2. Simple prøver
3. Opvarmningsprøver
4. Elementar-analyse
5. Endelig identifikation

1. Indledende undersøgelser

Disse omfatter følgende forhold:

a. Udseende

Materialet kan være en råpolymer, en polymerblanding eller et produkt/genstand. En råpolymer er ofte transparent eller svagt farvet, og en polymerblanding er enten granulat, pulver (termoplast) eller væskeformig (ikke hærdeplast). Et produkt kan normalt nemt klassificeres som værende et hærdeplast, termoplast eller en gummi.

b. Fabrikationsmetode

Der findes flere metoder til fremstilling af emner: trykstøbning, ekstrudering, sprøjtestøbning m.m. Sprøjtemærker og grafer kan bruges til at vurdere, hvilken metode der sandsynligvis har været anvendt.

c. Elasticitet

Materialerne deformeres forskelligt ved en simpel bøjning. En gummi kan bøjes meget, for der sker brud, og gummi har normalt en stor brudforlængelse samt en stor stivhed, hvis det er vulkaniseret. Bløde termoplast vender efter en bøjning ikke så nemt tilbage til udgangstilstanden, og stive termoplast vil først deformere sig noget og så hurtigt bryde. Hærdeplast er meget stive, og de vil bryde med et kantet brud. En vigtig undtagelse er polystyren, som er ekstremt skørt.

d. Varme

Materialer med få tværbindinger vil kunne smeltes reversibelt, mens hærdeplast for det meste er usmeltelig. Hvis man derfor forsigtigt opvarmer et lille stykke af materialet, tyder en smeltning på, at det ikke er et hærdeplast. Hvis der først sker en smeltning og derefter en størkning selv ved yderligere opvarmning, kan der være tale om en uhærdet polymer.

Man kan få et stort udbytte ved at anvende disse indledende undersøgelser, hvis man til rådighed har et lager af kendte prøver og i øvrigt bruger sin viden om materialerne og deres anvendelse.

2. Simple prøver

Disse omfatter en række prøver, som med stor værdi kan udføres på det ukendte materiale samt kendte prøver til sammenligning.

a. Beilsteins prøve

Denne prøve anvendes til at undersøge om materialet indeholder halogen, fortrinsvis Cl (chlor), Br (brom) og J (jod), men sjældent F (fluor). En tynd kobbertråd opvarmes i en bunsenbrænder til rødglød hede af materialet, berøres med tråden, som føres ind i flammen igen. En grøn flamme indikerer tilstedeværelsen af halogen.

b. Densitet

Måling af materialets densitet kan ske i måleglas med f.eks. vand/spritblandinger med forskellige densiteter. Almindelige termoplast af gummier har densiteter mindre end 1 g/cm^3 , mens hærdeplast ofte har densiteter, der er større. Et indhold af filler m.m. kan give et fejlagtigt billede. Polypropylen har den laveste densitet = $0,90 \text{ g/cm}^3$.

c. Klang m.m.

Almindelig polystyren har en særlig metallisk klang, hvis det tabes på et gulv eller bord. De fleste gummityper vil tilsvarende hoppe, det gælder dog ikke butylgummi.

d. Duft

Sulfid- og naturgummi har karakteristiske dufte, som bedst adskilles ved sammenligning med kendte prøver.

e. Overflade

Polyethylen og fluorplast føles tydeligt voksagtige.

f. Farve

Plastmaterialer optræder i mange farver. Lyse farver udelukker, at der er tale om fenolformaldehyd.

3. Opvarmningsprøver

Ved opvarmning af små mængder (0,1 g) af et materiale kan man iagttage en række fænomener i form af røgudvikling, røglugt, udseende før og efter glødning, flammeudseende og meget mere. I praksis starter man med at anbringe materialet på en spatel, som føres ind i en svag flamme, indtil materialet ryger. Prøven tages ud af flammen, og røgens farve, lugt og surhedsgrad (pH-værdi) bestemmes. Herefter opvarmes prøven til glødning, og det iagttages, om materialet brænder (let/svært), samt hvilken farve flammen har. En kraftig sodende flamme tyder på en aromatisk polymer, eller det kan skyldes iblanding af kulpulver som filler. Det undersøges, om materialet brænder efter, at flammen fjernes, samt hvilket udseende en eventuel rest har.

Ved den første stille opvarmning dannes der undertiden nogle dampe, som for det meste er sure. Basiske dampe fås ofte med formaldehydplast (H4 og H9). Hvide dampe og rest tyder på siliconforbindelser (G13, H8). Ofte smelter materialet klart (P1), og der kan trækkes fibre af smel-

ten (S7, S11). Dampene kan lugte meget forskelligt: skarp (G3, G9, G12, B4, S17, S19, S20, S21, H1, H3, H7), vammel/sød (G2, G5, G7, G8, B2, B3, S11), voksagtig (G4, B1, S14, S23), fiskeagtig (H4, H9), samt specielle lugte: styren (G14, G15, S1, S5, H6), sur (S3, S4) og brændt mælk, træ etc. (S6, S7, S8, H2).

Når materialet udsættes for en egentlig opvarmning, kan materialet være let (S5, S6), svært (S9, S22, H4, H9) eller meget svært (H5, S16) antændeligt. De øvrige brænder almindeligt. Flammen kan ofte være sodende (G1, G2, G7, G8, G9, G10, G14, G15, B2, B3, B5, S1, S2, S9, S11, S15, S18, H3, H6), og materialet kan være selvslukkende (G3, G5, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, B4, B5, S7, S16, S19, S20, S21, H2, H4, H5, H9). Flammen har farve efter grundstofferne med gul som den vigtigste. Dog kan der være blå/grøn bund (G4, G8, G12, B1, S1, S13, S14, S15, S17, S22, H6, H7)/(B4, B5, S19, S21). Blå flamme tyder på (S7, S12). Der findes flere nuancer samt nogle med blågrønne kanter (H4, H9).

De svært antændelige materialer efterlader ofte en farvet rest (G13, H8-hvid) og (B3, S16, S18-sort).

4. Elementar-analyser

På baggrund af de indtil nu foretagne prøver har man som regel en god fornemmelse af, hvilket materiale man har med at gøre. Specielt er tilstedeværelsen af chlor nemt at fastslå, og da selvslukkende materialer ofte indeholder chlor, er man et skridt på vejen. Ved en elementar analyse finder man de resterende grundstoffer, Br, J, F samt N (kvælstof) og S (svovl). Metoderne skal ikke beskrives nærmere, men de går i princippet ud på, at man "ødelægger" materialet ved glødning med ren natrium. Efter opløsning og rensning kan man med særlige reagenser påvise de søgte grundstoffer kvalitativt. Den største gruppe udføres af dem, der hverken indeholder kvælstof, svovl eller halogener, men den vigtigste gruppe indeholder halogener, specielt chlor.

5. Endelig identifikation

Der findes en række metoder til en endelig bestemmelse af materialet.

Metoderne kræver en del laboratoriearbejde m.m., og dette vil ikke blive nærmere omtalt her.

Afslutningsvis skal det nævnes, at der ikke er taget hensyn til, at materialet kan indeholde uorganisk fillermateriale, blødgørere, farvestoffer m.m. Disse stoffer omfatter forbindelser med grundstoffer som Al (aluminium), Ba (barium), Pb (bly), Zn (zink), Cd (cadmium) som sulfider, oxider, fosfater, carbonater, og mange flere. Der henvises til litteraturen for en nærmere beskrivelse af identifikationsmetoderne. (7)

SIKKERHED

Enhver brand vil normalt influere på mennesket og dets omgivelser. Hvis branden ydermere foregår i materialer med en ofte ukendt sammensætning, kan der ske stor skade på den menneskelige organisme. Følgende faktorer må antages at spille en rolle for, hvordan organismen kan trives:

1. Iltformindskelser
2. Flammepåvirkning
3. Varmepåvirkning
4. Giftige gasser
5. Røg
6. Styrkereduktion

1. Iltformindskelser

Ved en forbrænding bruges ilt, og hvis der ikke tilføres ny luft, falder iltkoncentrationen. Det betyder ganske vist, at ilden ikke næres så kraftigt, men mennesket kan ikke i længere tid tåle lave iltkoncentrationer. Hvis denne falder til 15-17%, opstår der en hurtigere puls, hovedpine og svigtende koncentrationsevne. 6-10% ilt bevirker, at man ikke kan anstrenge sig og evt. kollaps. Mindre end 6% ilt medfører døden indenfor få minutter. Om disse grænser nås, afhænger af mængden af brændbart materiale, forbrændingshastigheden, det totale volumen, der er til rådighed, samt ventilationshastigheden.

2. Flammepåvirkning

Menneskets hud bliver forbrændt, hvis blot temperaturen er 70-80°C i få sekunder. Derfor vil direkte flammer, strålevarme eller gasser fra flammer meget nemt kunne forårsage varige skader ved forbrænding.

3. Varmepåvirkning

Selvom der ikke er direkte flammer, kan varmpåvirkningen forårsage forbrændinger, dehydrering og blokade af åndedrætsorganerne. Det antages, at temperaturer over

150°C i en højde på ca. 1,50 m over gulve ikke kan overleves. Temperaturer mindre end 100°C gør rummene ubeboelige og besværliggør redningsaktioner.

4. Giftige gasser

Specielt for plastmaterialer gælder det, at der ved brand kan udvikles gasser, som i små koncentrationer ofte er ugiftige, men ikke i større.

a. Kuldiioxid, CO₂

Normalt luft indeholder 300 ppm CO₂. Op til ca. 5000 ppm er der ingen særlige effekter, men ved 18000 ppm skal man forøge vejtrækningen med 50% og med 100% ved ca. 25000 ppm. Forgiftninger og stadig sværere symptomer sker op til ca. 200000 ppm, hvor døden kan indtræde.

b. Kuloxid, CO

Kuloxid er som bekendt meget giftigt. Grænseværdier ligger omkring 25-50 ppm, og selv 200 ppm kan forårsage kollapse. Problemet er, at kuloxid ikke kan lugtes, hvorfor man skal være særlig forsigtig. Ved plastbrænde kan mængder af CO være højst ukontrollabel.

c. Andre gasser

Mange andre giftige gasser kan bedre identificeres p.gr.a. karakteristiske lugte.

Cyanbrinte, HCN er meget giftigt (10 ppm), men gassen lugter tydeligt som bittermandel.

Chlorbrinte, HCl er stærkt luftvejsirriterende (5 ppm) med en tydelig kras lugt.

Svovldioxid, SO₂ og svovlbrinte H₂S er også meget irriterende på luftveje, øjne etc. Begge kan lugtes, før de er egentlig skadelige. Dette gælder også for kvælstofforbindelser som NH₃ (ammoniak) og NO_x (kvælstofilter).

Af organiske forbindelser kan nævnes formaldehyd og andre aldehyder samt organiske opløsningsmidler, der alle er skadelige i små koncentrationer (få ppm).

5. Røg

Ved ufuldstændig forbrænding kan der dannes store mængder røg eller sod. I almindelighed gælder det, at røgmængden hurtigt når et niveau, der besværliggør slukningsarbejdet, selv om temperaturen ikke er særlig høj. Røgens tæthed influeres af forbrændingshastigheden, og den er omvendt proportional med ventilationsgraden.

6. Styrkereduktion

Store katastrofer kan opstå, hvis bygningernes bærende elementer kolliderer, f.eks. ved at et gulv "forsvinder" ned i etagen nedenunder, eller tag og vægge falder sammen. Hertil skal man være opmærksom på, at anvendelsen af plastmaterialer over store arealer kan give en stor brandspredning og branddryp til stor skade for personer og inventar.

AFSLUTNING

Brand i materialer er altid en alvorlig affære. Kendskabet til materialer er derfor vigtigt, når man effektivt skal kunne bekæmpe en brand. Undersøgelser af plastmaterialers opførsel ved opvarmning kan anvendes til at identificere materialet. Dette er af stor betydning, når man skal vurdere de brandsikkerhedsmæssige aspekter ved brug af plast. Der findes mange metoder til undersøgelse af materialers og konstruktioners brandmodstandsevne. Disse er ikke behandlet her, men der henvises til litteraturen.

LITTERATUR

1. BASF: Kunststoffe. Thermoplaste. Brandverhalten.
1986.
2. BASF: Samtale om plastmaterialer og fremstilling
 1. Sprøjtestøbning, 1970
 2. Extrudering, 1972
 3. Blæsestøbning, 1974
 4. Opbygning af egenskaber, 1976
3. Hilado, Carlos J.: Flammability Handbook for Plastics. Third Edition.
Technomic. U.S.A. 1982.
4. Jehrbo Jensen, Jens Kr.: Polymere materialer.
Note nr. 7708. AUC 1977.
5. Nisted, Tom: Brandkemi. Polymerer. Litteratur studium.
Dantest, brandteknisk afdeling. Sept. 1986.
6. Plastsammenslutningen m.fl. Plast og brand:
 - Nr. 1: Almen orientering, april 1972
 - Nr. 2: Plastrør, december 1972
 - Nr. 3: El-teknik, juni 1974
 - Nr. 4: Celleplast, maj 1977
 - Nr. 5: Bygningskomponenter, juni 1978
 - Nr. 6: Forarbejdning og oplagring af plast,
marts 1981
 - Nr. 7: Plast i indbo, maj 1984
7. Saunders, K.J.: The Identification of Plastics and Rubbers.
Chapman and Hall Ltd. - Science Paperback, 1966.
8. Troitzsch, Jürgen: International Plastics Flammability, Handbook.
Hanser Publishers, 1983.

The first part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is argued that the study of the history of the English language is not only a matter of historical interest, but also a matter of practical importance. The study of the history of the English language can help us to understand the development of the English language and to see how the English language has changed over time. It can also help us to understand the relationship between the English language and other languages, and to see how the English language has been influenced by other languages.

The second part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is argued that the study of the history of the English language is not only a matter of historical interest, but also a matter of practical importance. The study of the history of the English language can help us to understand the development of the English language and to see how the English language has changed over time. It can also help us to understand the relationship between the English language and other languages, and to see how the English language has been influenced by other languages.

The third part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is argued that the study of the history of the English language is not only a matter of historical interest, but also a matter of practical importance. The study of the history of the English language can help us to understand the development of the English language and to see how the English language has changed over time. It can also help us to understand the relationship between the English language and other languages, and to see how the English language has been influenced by other languages.

The fourth part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is argued that the study of the history of the English language is not only a matter of historical interest, but also a matter of practical importance. The study of the history of the English language can help us to understand the development of the English language and to see how the English language has changed over time. It can also help us to understand the relationship between the English language and other languages, and to see how the English language has been influenced by other languages.

The fifth part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is argued that the study of the history of the English language is not only a matter of historical interest, but also a matter of practical importance. The study of the history of the English language can help us to understand the development of the English language and to see how the English language has changed over time. It can also help us to understand the relationship between the English language and other languages, and to see how the English language has been influenced by other languages.

